第 38 卷第 3 期　　生　态　学　报　　Vol.38,No.3
2018 年 2 月　　ACTA ECOLOGICA SINICA　　Feb.,2018

DOI: 10.5846/stxb201612082528
肖洋,张路,张丽云,肖燚,郑华,欧阳志云.渤海沿岸湿地生物多样性变化特征.生态学报,2018,38(3):909-916.
Xiao Y, Zhang L, Zhang L Y, Xiao Y, Zheng H, Ouyang Z Y.Spatial variation analysis of biodiversity in the Bohai region coastal wetland.Acta Ecologica Sinica,2018,38(3):909-916.

渤海沿岸湿地生物多样性变化特征

肖　洋[1],张　路[1],张丽云[1,2],肖　燚[1],郑　华[1],欧阳志云[1,*]
1 中国科学院生态环境研究中心,城市与区域生态国家重点实验室,北京　100085
2 中国科学院研究生院,北京　100039

摘要:全球气候变化和人类活动干扰的加强,对全球生物多样性造成了前所未有的干扰和破坏。近年来随着我国东部沿海的人口经济快速增长、资源需求进一步增大,生物多样性保护面临着巨大的挑战,进而影响地区经济和生态环境的可持续发展。在区域尺度上评估我国滨海湿地生态系统生物多样性空间格局及其变化特征,对于科学认识和合理保护滨海湿地生态系统生物多样性,和制定生态环境保护决策具有十分重要的意义。以渤海沿岸湿地生态系统生物多样性为研究对象,通过 InVEST 模型,和物种丰富度指数,评价了该地区生物多样性现状及其变化。结果表明:(1) 渤海沿岸湿地生态系统主要以水库坑塘为主,其次为草本沼泽。在 2000—2010 年期间,渤海沿岸湿地生态系统总面积几乎不变,主要为草本沼泽和水库坑塘之间的转换。(2) 湿地生物多样性较高的区域主要分布在辽东湾中部、渤海湾东南部和莱州湾西北部。由于城市化进展的加快,人类活动的干扰加强,近 10 年来,渤海沿岸湿地生境质量逐渐降低,生物多样性呈退化趋势。频繁的人类活动对该地区湿地生物多样性产生巨大的负面影响,应多建立自然保护区加以保护。(3) 生物多样性变化热点区主要分布在渤海湾东南部和莱州湾西北部。冷点区域主要集中在渤海湾的中北部。在渤海湾东南部和莱州湾西北部的变化热点区内,生物多样性呈改善趋势,说明有效的生态系统转换和湿地保护区的建立,可以实现发展与保护共存,达到了双赢的效果。

关键词:渤海沿岸湿地;生物多样性;空间格局;变化特征;InVEST 模型

Spatial variation analysis of biodiversity in the Bohai region coastal wetland

XIAO Yang[1], ZHANG Lu[1], ZHANG Liyun[1,2], XIAO Yi[1], ZHENG Hua[1], OUYANG Zhiyun[1,*]
1 *State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100085, *China*
2 *Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100039, *China*

Abstract: Unreasonable use of biological resources by humans and climate change have negative impacts on biodiversity at a global scale. As a consequence of the rapid population growth, with its associated further demands, along the east coast of China in recent years, biodiversity protection is facing enormous challenges, which have huge impacts on the sustainable development of the regional economy and ecological environment. Coastal wetlands, with their highest biodiversity, are among the most important ecosystems. Human activities are major contributors to biodiversity loss and degradation of biological community structure. Wetland development and reclamation and its dynamics have an important impact on species habitat, population distribution, and biodiversity. Many researchers have attributed biodiversity loss in coastal wetlands to long-term human interference and widespread changes in land use and cover. However, recent studies have shown that human activities may improve the level of biodiversity in selected study regions across China. It is necessary to investigate current regional costal wetland status and its response to human activities, which will promote a better understanding of their accumulated consequences. On the basis of the biodiversity status in Bohai region costal wetland, we used an index of

基金项目:林业性行业科研专项资助项目(201404305)
收稿日期:2016-12-08;　　**网络出版日期:**2017-10-18

* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: zyouyang@ rcees.ac.cn

habitat quality and species richness as evaluation factors to calculate an index of biodiversity, and to analyze the hotspots or cold spots of biodiversity change via the method of spatial correlation. The results obtained were as follows. (1) The dominant ecosystem type in Bohai region costal wetland is reservoir and water pits, followed by grass swamp. There was almost no change in the total area of wetland ecosystem. However, internal change occurred in the form of transformation between reservoir and grass swamp from 2000 to 2010. (2) High biodiversity areas are mainly distributed in central Liaodong Bay, southeast of Bohai Bay, and northwest of Laizhou Bay. Because of the increasing rate of urbanization, and the growing interference of human activities in recent years, biodiversity in the Bohai region costal wetland is facing gradual deterioration, which has huge impacts on sustainable development of the regional economy and ecological environment. (3) The hotspots of biodiversity change are mainly distributed in the southeast of Bohai Bay and northwest of Laizhou Bay. The cold spots of biodiversity change are mainly concentrated in the north-central region of Bohai Bay. A trend of improvement in biodiversity was found in the southeast of Bohai Bay and northwest of Laizhou Bay, indicating that efficient ecosystem transformation together with establishment of wetland reserves could yield a win-win result.

Key Words: Bohai region costal wetland; biodiversity; spatial patterns; variation characteristics; InVEST model

生物多样性资源不仅可以直接作为食物、药物、能源、工业原料,而且还能间接提供生态系统服务。这些服务包括调节气候、保持自然生态系统稳定、降解废物、维持自然基因库和美学价值等[1]。随着全球气候变化和人类活动干扰,生物多样性的日益丧失,引起了国际社会的广泛关注[2]。全球平均每年约 1000 个野生物种灭绝,并在未来的几十年中有可能达到每年 5000 个[3],这种灭绝速率比人类出现前大 100—1000 倍[4]。为控制物种灭绝速度,提高生物多样性保护成效,已出现大量保护方法研究[2],主要为就地保护。全球陆地表面的 10%—11%已经建立为自然保护地,但是全球生物多样性资源丰富,而且生物多样性逐年变化,全面有效的保护生物多样性已成为全球所面临的巨大挑战。特别是近年来,中国东部沿海发生着巨大的变化,人口经济的快速增长、资源需求的进一步增大、致使该地区生物多样性保护受到一定的冲击。

滨海湿地作为海陆交错地带,是一个边缘区域[5],也是生物多样性最为丰富,最具价值的生态系统之一[6-7]。由于经济的发展和人类活动的干扰,滨海湿地生态系统正遭受着不同程度的功能损失和丧失,致使湿地生物多样性的时空变化研究备受关注。这些变化必然会影响滨海湿地的生物多样性状况,进而影响地区经济和生态环境的可持续发展。本文首先结合滨海湿地生物多样性的实际情况,选取生境质量指数和生物丰富度作为评价指标参数,计算地区生物多样性指数,探讨该区域生物多样性的空间格局。同时通过遥感空间分析,揭示海滨湿地生态系统和湿地生物多样性时空动态特征。最后采用空间相关分析方法,识别研究区生物多样性变化的热冷点区和当前自然保护区所面临的风险。因此,研究中国东部滨海湿地生物多样性资源状况,客观认识生态系统结构与生物多样性,探讨生物多样性变化的热冷点区,为促进我国湿地生物多样性管理与保护,缓解日趋严重的退化问题,实现中国可持续发展具有重要的科学意义。

1 研究区概况

渤海沿岸滨海湿地南起山东省蓬莱市,北到辽宁省的大连市,自南向北途径河北省天津市的沿海地区,总面积约为 59957.42km^2,有黄河、海河、蓟运河、大凌河等河流注入。主要包括 3 大海湾,分别为北部的辽东湾、中部的渤海湾和南部的莱州湾。海底地形大致自南向北,自岸向海倾斜,沉积物主要为细颗粒的粉砂与淤泥。大陆性季风气候显著,温和湿润,日照充足,雨量丰沛,四季分明,年平均气温 12—14℃,年平均降水量为 530—660mm,自西向东降水递增,且年际和年内变化较大。该地区河流众多,湖泊、池塘、水库、河口星罗棋布,再加上漫长的浅海滩涂,构成了丰富多样的湿地景观独特的地理位置,良好的湿地环境,使渤海沿岸成为我国东部湿地水鸟的重要分布区,主要体现在种类多、数量大、珍稀濒危物种出现频率高等方面。由于位于沿海,地下淡水资源相对贫乏,工农业及生活用水主要依靠地表水,因此水库坑塘较多。此外,渤海沿岸排污河

流很多,加之渤海湾、莱州湾是两个相对封闭的海湾,海水交换能力将对较弱,净化能力较低,导致沿海水域污染严重,赤潮灾害时有发生。

2　研究数据与方法

2.1　数据来源与处理

生态系统类型图主要基于 Landsat TM 和环境卫星 HJ 数据,采用面向对象的分类技术遥感解译得到[8-10]。行政区划图、道路矢量图、自然保护区和物种丰富度等数据作为本研究的主要矢量数据,基于 ArcGIS 软件,通过输入和汇总建立地理信息系统数据库。数字高程模型 DEM,空间分辨率为 90m,来源于国际科学数据平台。统一所有数据投影坐标系统和空间分辨率。详细数据信息见表 1。

2.2　研究方法

本研究参考徐佩等人研究[11],选取了生境质量指数和物种丰富度指数,作为评价地区生物多样性特征的重要评价指标参数,以栅格为统计单元,利用如下公式计算生物多样性:

$$BI = SR + HQ$$

式中,*BI*(Biodiversity Index)为生物多样性指数(无量纲,范围为 0—1);*SR*(Species Richness)为物种丰富度(植物与动物),对其进行标准化处理,使数值范围在 0—1 之间,依据李迪强对指示物种选择和赋值标准[12],选择地区指示物种并计算指示物种的丰富度指数。*HQ*(Habitat Quality)为栅格生境质量,用 InVEST 生物多样性模型计算得到(无量纲,范围为 0—1)。

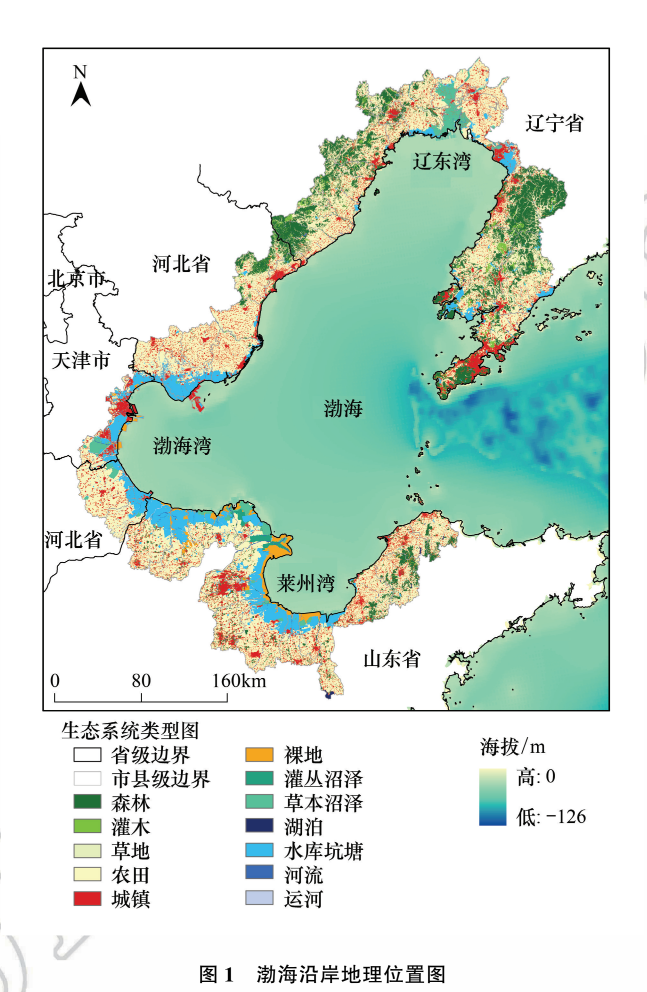


图 1　渤海沿岸地理位置图

Fig.1　The geographical location of Bohai coast in China

表 1　主要数据来源

Table 1　Sources of principal data

数据名 Data name	分辨率 Data resolution	数据源 Data source
生态系统分类图 Ecosystem classification	90m	中国科学院遥感与数字地球研究所
高程数据 Digital Elevation Model (DEM) data	90m	国际科学数据平台
行政区划及地理区划 Administrative boundary and geographic boundary	市级,县级	中国科学院地理科学与资源研究所
流域 Watershed	1 级流域	中国科学院地理科学与资源研究所
交通道路 Traffic road	县级	政府部门
自然保护区 Nature conservation	多边形	政府部门
物种丰富度 Species richness	县级	政府部门

生境质量是指生态系统提供适合于个体和种群的持久性存在条件的能力,也被认为是模型中一个连续变量,从低到中再到高,基于生存资源可获取性,而繁殖和存在数量[13]。生境质量取决于一个生境对人类土地利用和这些土地利用强度的可接近性。一般来说,生境质量的退化可看做附近的土地利用强度增加的结果[14]。生境质量模型主要包括 4 个因素,每种威胁的相对影响,每种生境类型对每种威胁的相对敏感性,生境与威胁之间的距离,缓解生境威胁的保护。生境质量计算公式如下:

$$HQ_x = H \times \left(1 - \left(\frac{D_x^z}{D_x^z + k^z}\right)\right)$$

式中,HQ_x 为栅格 x 的生境质量(无量纲,范围为 0—1);H 为布尔图,即 0 非生境或 1 生境;D_x 为栅格 x 的总威胁等级;z 为模型系数,这里取值 $z=2.5$[15];k 为半饱和常数,由用户设定。此外,生境威胁因子主要包括工业用地、城镇、农田、主要道路、次要道路等。威胁源属性表中的威胁强度,威胁距离参考已有的相关文献资料[16],威胁因子的相对权重值来自专家评分。生境敏感性属性表中的敏感性值参考模型推荐数值,并根据研究区特定的生境状况进行了调整。关于更多模型参数的细节请参考 InVEST 模型使用手册[15]。所有地图数据均转换为相同的坐标系统(Albers Conical Equal Area)和相同空间分辨率(90m)。

在生物多样性的热冷点区的研究中,热点区是指物种聚集度高的地区,冷点区是指物种聚集度低的地区,即趋于离散,因此可以利用空间相关分析进行热冷点地区识别。在空间统计中 Gi 系数作为空间相关分析中常用的自相关指标,是一种基于距离全矩阵的局部空间自相关指标,可以探查出研究区内哪些区域是指示物种高度聚集的地方,即热点区[17]。本文利用 ArcGIS 软件的空间自相关分析计算生物多样性变化的聚集程度。

3 结果与分析

3.1 湿地生态系统

渤海沿岸湿地生态系统主要分布在辽东湾、渤海湾和莱州湾附近,其中渤海湾湿地面积比例最大(图 2)。按湿地类型而言,辽东湾湿地类型主要为灌木和草本沼泽。而渤海湾和莱州湾主要为水库坑塘。渤海沿岸湿地生态系统总面积在 2000—2010 年几乎不变,仅微微增加 38.93km^2,但其内部各类型面积转换非常显著(表 2)。特别是草本沼泽和水库坑塘,10 年间它们变化面积分别为-540.45km^{2}和 485.49km^2。草本沼泽面积比例相对降低了 4.69%,而水库坑塘则升高了 3.93%。呈现出自然湿地面积逐年持续减少,人工湿地面积持续增加趋势。由于滨海地区城市化迅速,人口增长,导致以水产养殖为主的产业大力发展,致使草本湿地(主要植被为芦苇),向水产养殖塘的水库坑塘转变。总体上,渤海滨海湿地生态系统变化的特征主要是通过围垦草

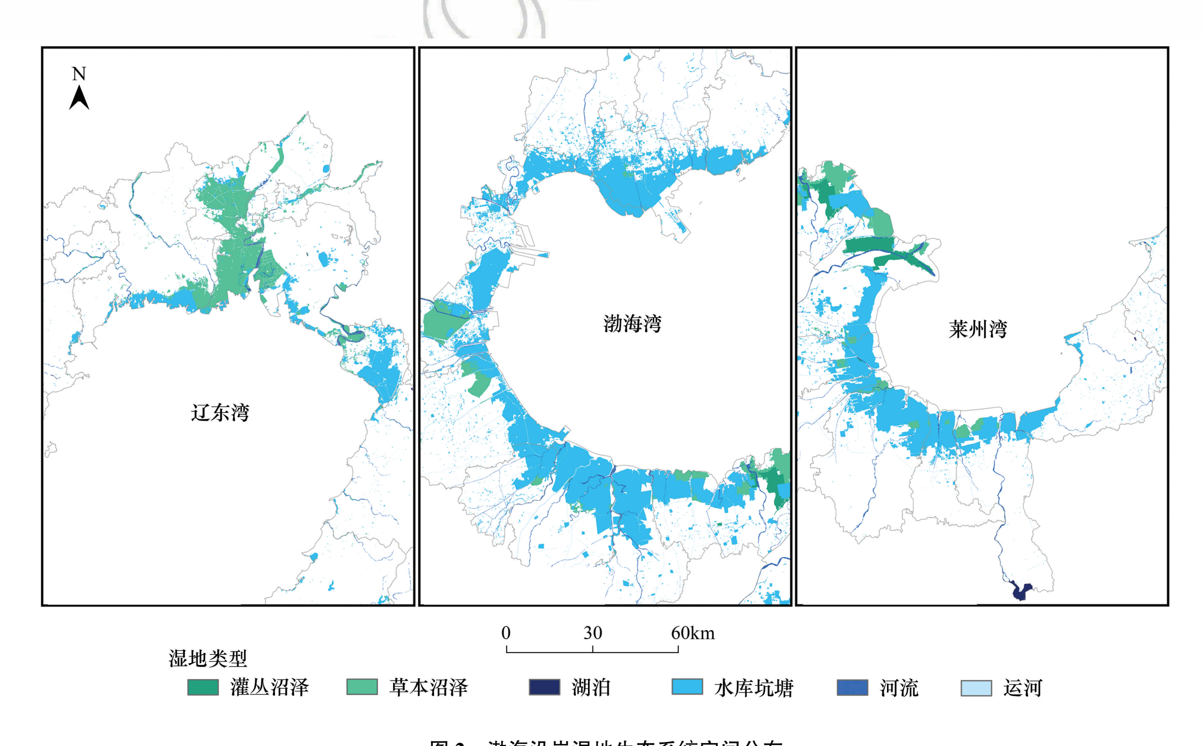


图 2 渤海沿岸湿地生态系统空间分布

Fig.2 Spatial distribution of wetland in Bohai coast

本沼泽等自然湿地,改造为水产养殖塘或耕地等人类活动强度较高的生态系统类型。

表 2　渤海沿岸湿地生态系统面积和比例 2000 和 2010 年

Table 2　Areas and proportions of wetland type in 2000 and 2010

湿地类型 Wetland type	2000 年		2010 年		变化 Change	
	面积/km^2 Area	比例/% Ratio	面积/km^2 Area	比例/% Ratio	面积/km^2 Area	比例/% Ratio
灌丛沼泽 Shrub swamp	303.61	2.60	349.48	2.99	45.87	0.38
草本沼泽 Grass swamp	2657.56	22.78	2117.11	18.09	-540.45	-4.69
湖泊 Lake	76.32	0.65	84.11	0.72	7.79	0.06
水库坑塘 Reservoir	7696.81	65.97	8182.30	69.90	485.49	3.93
河流 River	759.83	6.51	801.76	6.85	41.93	0.34
运河 Canal	172.86	1.48	171.16	1.46	-1.70	-0.02
湿地整体 Total Wetland	11666.99	100.00	11705.92	100.00	38.93	0

3.2　生物多样性

由于地理位置、气候条件、生境质量和物种丰富度存在空间差异,滨海湿地生物多样性也表现出明显的空间异质性(图 3)。生物多样性数值较高的区域主要分布在辽东湾中部和莱州湾西北部附近。从地理空间来看,生物多样性数值高的地区大多数为自然保护区或植被丰富的沼泽地带,这些植被为动植物的栖息繁衍提供了良好的环境,又因为地形限制,受到人为干扰较少,所以在这种地形的控制下形成了有利于各种生物生存的小生境。而生物多样性数值较低的区域则分布在渤海湾附近。由于渤海湾沿岸属于天津市和河北省行政区内,社会经济发达,人口密度高,人口对湿地生态系统干扰强度大,故生物多样性数值较低。2010 年渤海沿岸湿地生物多样性均值为 0.55,相对于 2000 年降低了 8.3%(表 3)。除湿地整体生物多样性降低外,其内部草本沼泽、湖泊和水库坑塘等类型都出现一定程度的退化。2000—2010 年来,渤海沿岸湿地生物多样性普遍退化,主要原因是由于湿地周边的快速城市发展,近 10 年来,周边城市化面积增长达到 2372.93km^2,增幅约为 30.96%。迅速的城市发展,人类活动的不断加强,给周边的湿地生态系统造成一定的干扰,许多适宜生境丧失,导致湿地生物多样性存在退化的风险。

表 3　渤海沿岸湿地生物多样性指数 2000 和 2010 年

Table 3　Biodiversity index of wetland in 2000 and 2010

湿地类型 Wetland type	2000 年 均值 Mean	2010 年 均值 Mean	变化 Change 均值 Mean	湿地类型 Wetland type	2000 年 均值 Mean	2010 年 均值 Mean	变化 Change 均值 Mean
灌丛沼泽 Shrub swamp	0.68	0.66	-0.02	河流 River	0.50	0.48	-0.02
草本沼泽 Grass swamp	0.65	0.58	-0.07	运河 Canal	0.47	0.46	-0.01
湖泊 Lake	0.47	0.45	-0.02	湿地整体 Total Wetland	0.60	0.55	-0.05
水库坑塘 Reservoir	0.57	0.55	-0.02				

3.3　生物多样性变化原因

由于该区域受人类活动显著影响,生物多样性发生着巨大的变化。本文对生物多样性变化与所有可能的影响因子做相关性分析,发现与道路密度、GDP(Gross Domestic Product)密度、人口密度相关性明显(图 4)。生物多样性变化均与道路密度、GDP 密度、人口密度呈现明显的负相关($r=-0.486$, $P<0.01$;$r=-0.856$, $P<0.01$;$r=-0.812$, $P<0.01$)。结合上文 3.1 部分内容,我们发现近 10 年来渤海滨海湿地受人类活动干扰较大。随着人口的增长和经济的发展,渔业食物的价格上升,围垦草本沼泽,改造水产养殖塘或耕地的活动越来越频繁。此外,房地产和交通的发展,道路的密集建设,对该地区湿地生物多样性产生巨大的负面影响。

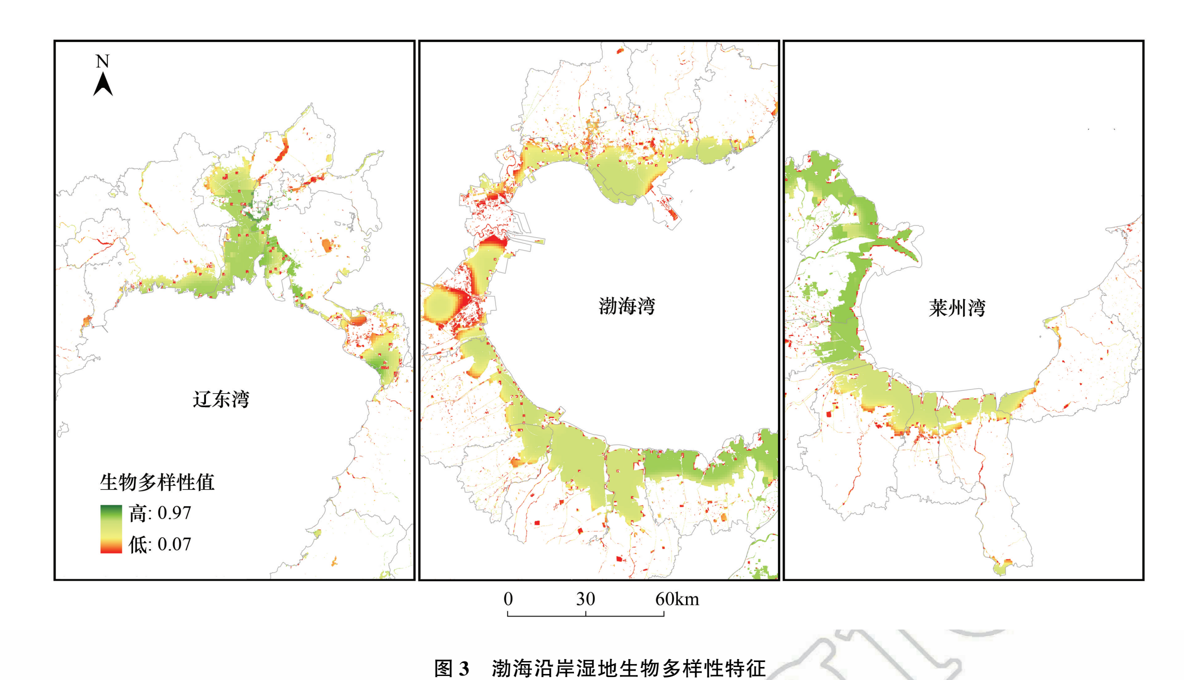


图 3 渤海沿岸湿地生物多样性特征

Fig.3 Spatial pattern of biodiversity index in Bohai coast

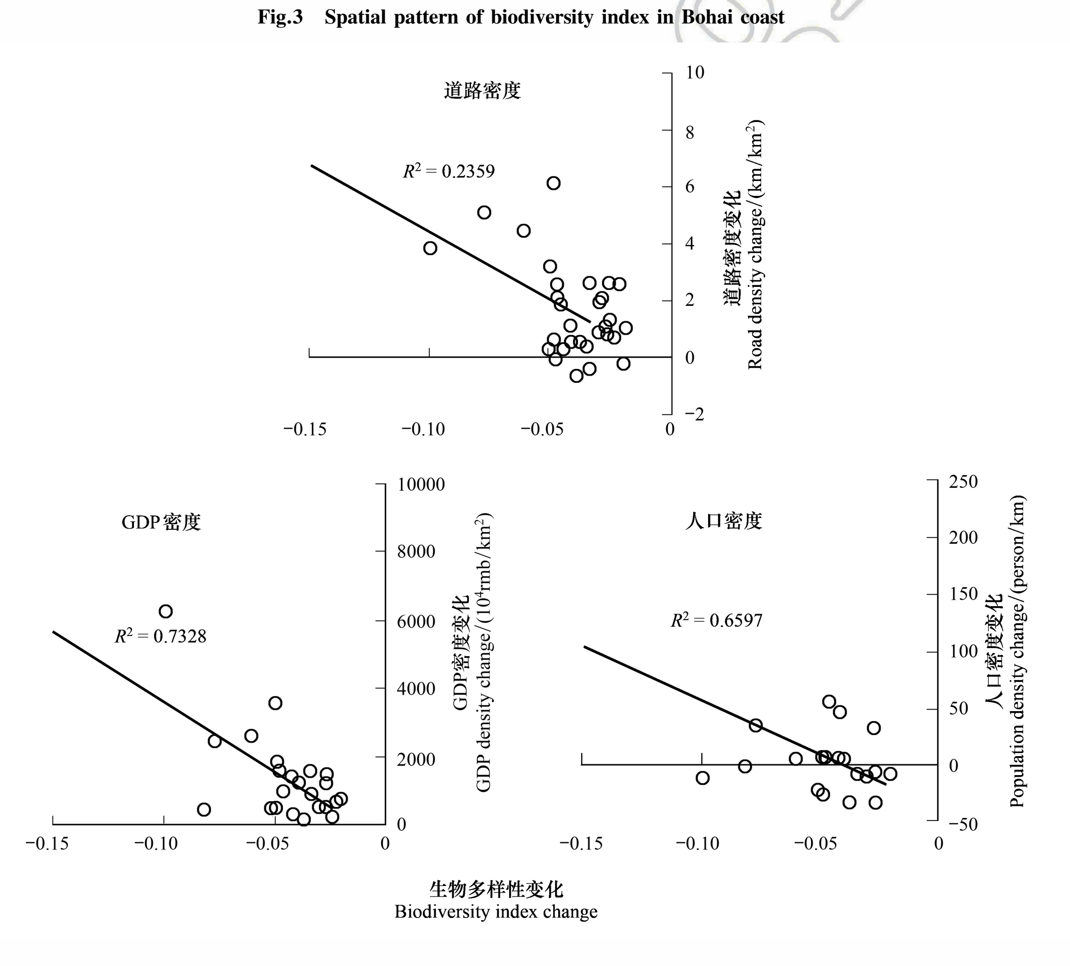


图 4 渤海沿岸湿地生物多样性变化与影响因子的相关性

Fig.4 Relation between biodiversity and driving factors in Bohai coast

3.4 生物多样性变化热冷点区

对生物多样性变化进行热冷点分析,结果如图 5 所示。渤海沿岸湿地生物多样性变化热点区(Z 值大于

1.96)主要集中在渤海湾东南部和莱州湾西北部,以及辽东湾中部的滨海湿地。而变化冷点区(Z 值小于 −1.96)主要分布在渤海湾中北部附近。这里选取±1.96 作为分类阈值,是因为当使用 95%的置信度时 Z 值为 ±1.96 标准差,即具有统计显著性(P 值<0.05)。由于热点区附近存在国家湿地保护区,生物多样性高,相对其他区域而言,变化较为剧烈和集中,使得空间上的聚集度较高,从而 Z 值绝对值高。

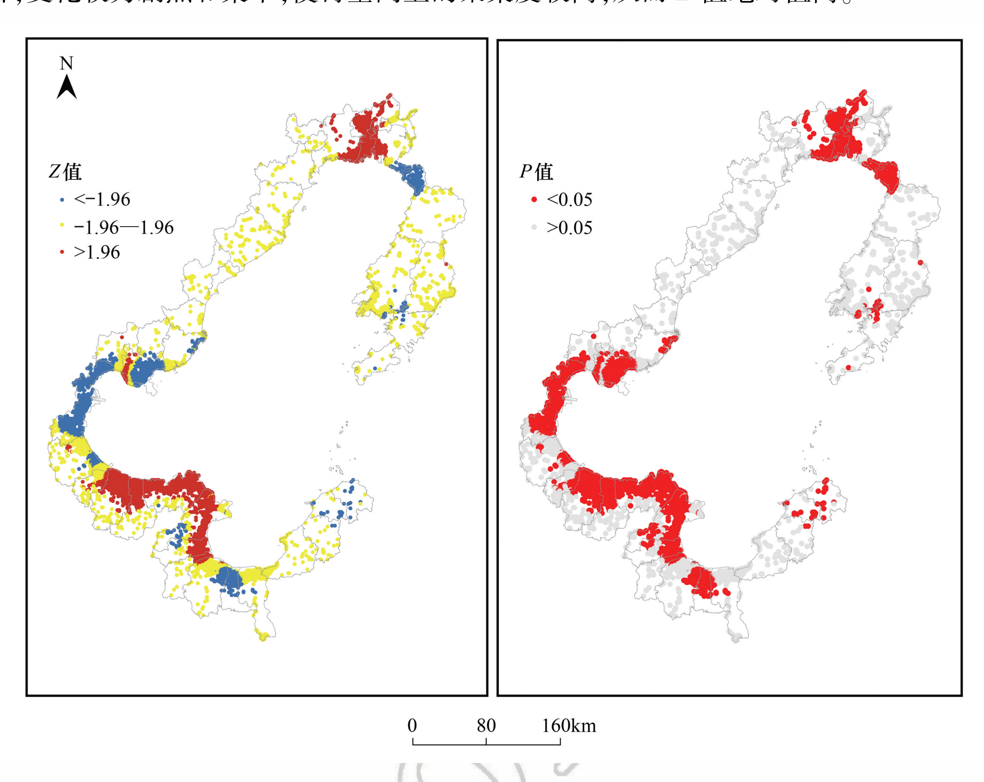


图 5　渤海沿岸湿地生物多样性变化热点冷点区

Fig.5　Hotspots / cold spots of biodiversity index change in Bohai coast

4　结论

本文基于渤海沿岸湿地生态系统类型、道路、威胁因子和参数属性等,通过 InVEST 生物多样性模型,获取生境质量,并结合物种丰富度,评估研究区生物多样性和探讨其变化的热冷点区域。研究结果如下:

(1)在 2000—2010 年期间,渤海沿岸湿地生态系统总面积几乎不变,但其内部各类型面积转换则非常显著,主要为草本沼泽和水库坑塘之间的转换。呈现出自然湿地面积逐年持续减少,人工湿地面积持续增加趋势。

(2)生物多样性较高的区域主要分布在辽东湾中部、渤海湾东南部和莱州湾西北部,主要包括凌海市、盘山县、大洼县、无棣县、沾化县、河口区、垦利县和东营区。由于城市化进展的加快,人类活动干扰的加强,在 2000—2010 年期间,渤海沿岸湿地适宜生境的面积不断地减少,生境质量逐渐降低,生物多样性呈退化趋势。

(3)近 10 年来渤海沿岸湿地生物多样性的变化与人类活动的关系非常密切,其与道路密度、GDP 密度、人口密度呈现明显的负相关。频繁的人类活动对该地区湿地生物多样性产生巨大的负面影响,应多建立自然保护区加以保护。

(4)通过生物多样性变化热冷点分析,热点区主要分布在渤海湾东南部和莱州湾西北部,包括无棣县、沾化县、河口区、垦利县和东营区。冷点区域主要集中在渤海湾的中北部,包括滨海新区,丰南区和曹妃甸区。在渤海湾东南部和莱州湾西北部的变化热点区内,生物多样性呈改善趋势,说明裸土转换为水库坑塘和自然保护区的存在,可以有效的改善该地区的生境质量,即发展与保护共存,达到了双赢的结果。

参考文献(References):

[1] Hooper D U, Chapin F S III, Ewel J J, Hector A, Inchausti P, Lavorel S, Lawton J H, Lodge D M, Loreau M, Naeem S, Schmid B, Setälä H, Symstad A J, Vandermeer J, Wardle D A. Effects of biodiversity on ecosystem functioning: a consensus of current knowledge. Ecological Monographs, 2005, 75(1): 3-35.

[2] Rands M R W, Adams W M, Bennun L, Butchart S H M, Clements A, Coomes D, Entwistle A, Hodge L, Kapos V, Scharlemann J P W, Sutherland W J, Vira B. Biodiversity conservation: challenges beyond 2010. Science, 2010, 329(5997): 1298-1303.

[3] Franklin J F. Preserving biodiversity: species, ecosystems, or landscapes. Ecological Applications, 1993, 3(2): 202-205.

[4] Lawton J H, May R M. Extinction Rates. Oxford: Oxford University Press, 1995.

[5] Levenson H. Coastal Systems: On the Margin//Coastal Wetlands. New York: American Society of Civil Engineers, 1991.

[6] 杨永兴. 国际湿地科学研究的主要特点、进展与展望. 地理科学进展, 2002, 21(2): 111-120.

[7] 傅娇艳, 丁振华. 湿地生态系统服务、功能和价值评价研究进展. 应用生态学报, 2007, 18(3): 681-686.

[8] 吴炳方, 苑全治, 颜长珍, 王宗明, 于信芳, 李爱农, 马荣华, 黄进良, 陈劲松, 常存, 刘成林, 张磊, 李晓松, 曾源, 包安明. 21世纪前十年的中国土地覆盖变化. 第四纪研究, 2014, 34(4): 723-731.

[9] Zhou G Y, Wei X H, Luo Y, Zhang M F, Li Y L, Qiao Y N, Liu H G, Wang C L. Forest recovery and river discharge at the regional scale of Guangdong Province, China. Water Resources Research, 2010, 46(9): W09503.

[10] 王丽云, 李艳, 汪禹芹. 基于对象变化矢量分析的土地利用变化检测方法研究. 地球信息科学学报, 2014, 16(2): 307-313.

[11] 徐佩, 王玉宽, 杨金凤, 彭怡. 汶川地震灾区生物多样性热点地区分析. 生态学报, 2013, 33(3): 718-725.

[12] 李迪强, 宋延龄, 欧阳志云. 全国林业系统自然保护区体系规划研究. 北京: 中国大地出版社, 2003.

[13] Hall L S, Krausman P R, Morrison M L. The habitat concept and a plea for standard terminology. Wildlife Society Bulletin, 1997, 25(1): 173-182.

[14] Forman R T T, Sperling D, Bissonette J A, Clevenger A P, Cutshall C D, Dale V H, Fahrig L, France R L, Goldman C R, Heanue K, Jones J, Swanson F, Turrentine T, Winter T C. Road Ecology: Science and Solutions. 2nd ed. New York: Island Press, 2002.

[15] Tallis H T, Ricketts T, Nelson E, Ennaanay D, Wolny S, Olwero N, Vigerstol K, Pennington D, Mendoza G, Aukema J, Foster J, Forrest J, Cameron D, Lonsdorf E, Kennedy C. InVEST 1.005 Beta User's Guide. Stanford, CA, USA: The Natural Capital Project, 2010.

[16] 彭怡. InVEST模型在生态系统服务功能评估中的应用研究: 以四川汶川地震灾区为例[D]. 成都: 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所, 2010.

[17] Getis A, Ord J K. Local spatial statistics: an overview//Longley P A, Batty M, eds. Spatial Analysis: Modelling in a GIS Environment. Cambridge: GeoInformation International, 1996: 261-177.